

Д. Е. Рублев^{1}*

Влияние водно-эрозионных процессов на устойчивость борта угольного разреза

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация
*denmiir@211.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние вод талого и дождевого стока на образование трещин и водных линз в бортах угольного разреза. Выявлена зависимость скорости смещений четвертичных отложений от объёма выпавших осадков. Предложены меры по снижению негативного влияния вод дождевого стока и дренажа на устойчивость борта, формирование зигзагообразных трещин и контроля их развития в массиве верхнего горизонта краевой зоны карьерного пространства угольного разреза. При отсутствии бокового отпора такие нарушения приводят к эрозионным отслоениям, потере устойчивости и обрушению вышележащих грунтов на нижерасположенные уступы как при увлажнении, так и при температурных перепадах среды.

Ключевые слова: борт угольного разреза, водно-эрозионные процессы в грунтах, геомониторинг

D. E. Rublev

The influence of water erosion processes on the stability of the sides of a coal cut

¹Federal State Budgetary Institution of Science N.A. Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
*denmiir@211.ru

Abstract. The influence of melt and rain water on the formation of cracks and water lenses in the sides of a coal cut is considered. The dependence of the rate of displacement of Quaternary sediments on the volume of precipitation was revealed. Measures have been proposed to reduce the negative impact of rainwater and drainage on the stability of the side, the formation of zigzag cracks and control their development in the upper horizon of the edge zone of the open-pit coal mine. In the absence of lateral resistance, such violations lead to erosional detachments, loss of stability and collapse of overlying soils onto underlying ledges both when moistened and when there are temperature changes in the environment.

Keywords: coal cut wall, water erosion, geomonitoring

Введение

С увеличением глубин и площадей добычи угля открытым способом в Кузбассе усиливается воздействие водной эрозии как на осваиваемые горизонты угольных разрезов, так и на подготавливаемые к разработке слои верхних горизонтов четвертичных отложений, представленных, в основном, чередующимися прослоями глин и суглинков, залегающих разноуровнево на алевролитах и аргиллитах с пластами угля и перепадами высот от нескольких до десятков метров,

местами в пределах сотни. Из-за сложности строения и чередования почвенных слоёв верхних горизонтов происходит изменение режимов накопления и дренажа подземных вод при выпадении дождевых осадков и их неравномерного стока в грунтах с различной проницаемостью [1, 2]. С увеличением накопления объёмов вод в грунтах в летний период наблюдается их насыщение, в местах залегания слабопроницаемых глинистых прослоев образуются плавунные участки (рис. 1). В зимний период вблизи поверхности происходит образование ледяных прослоек и линз, ускоряется развитие трещин с потерей контактов между структурными элементами, формируемыми такими прослойками.

Важную роль при накоплении влаги в линзах играют трещины, образующиеся в верхних слоях осадочных грунтов в периоды просыхания. Через такие трещины в периоды дождей вода попадает в нижние слои, где накапливается в поровом пространстве слабопроницаемых суглинков и глин, что приводит к набуханию последних. Под воздействием капиллярно-дренажных эффектов изменяется объёмный вес налегающей толщи и упруго-пластичные свойства грунтовых отложений, приводящие к переформированию краевой части борта.

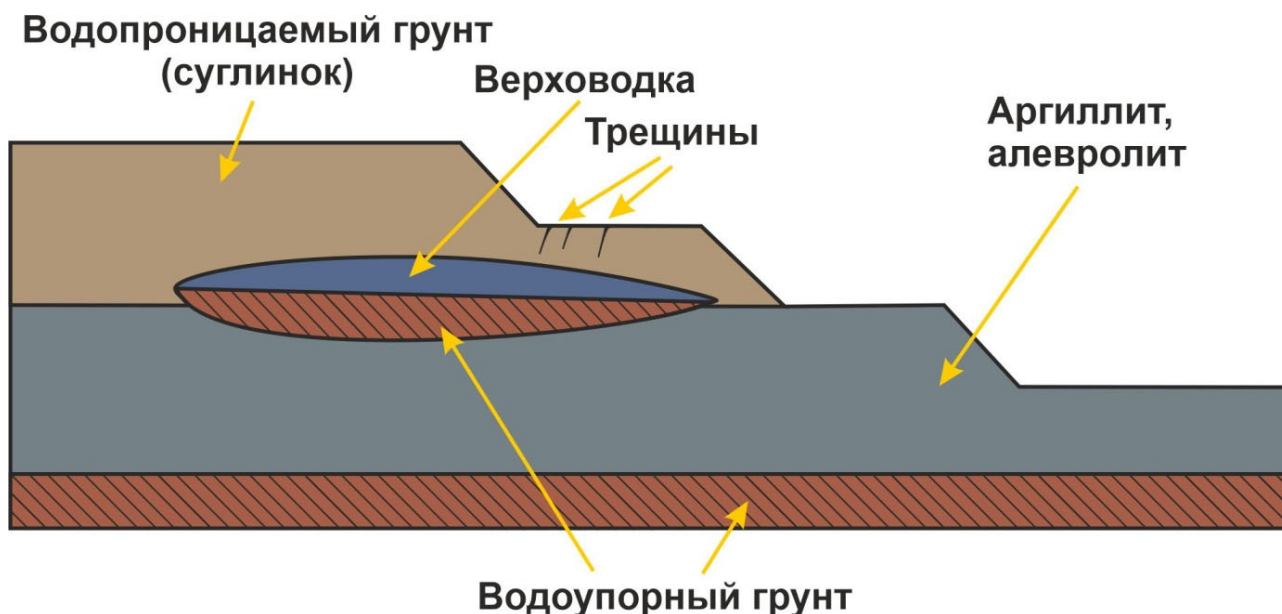


Рис. 1. Образование плавунного участка вблизи краевой кромки борта угольного разреза

Указанные факторы приводят к образованию зеркал скольжения и сползанию по ним кромки борта, которое особенно существенно проявляется в периоды потеплений. Данный факт связан с изменениями **упруго-прочностных параметров и сил сцепления грунтов в результате дренажа дождевых и талых вод [3] и значительном их накоплении в ложбинах и трещинах при снеготаянии.**

Методы и материалы

В качестве объекта исследования был выбран участок краевой зоны борта угольного разреза, подверженный влиянию водно-эрозионных процессов с постепенным формированием разломного отслоения грабенного типа вдоль кромки борта. Верхний горизонт данного участка сложен чередующимися прослоями глин и суглинков мощностью от нескольких до десятков метров, склонен к постепенному проседанию с переформированием и эрозионным отслоением верхней кромки борта уступа, что сопровождается (рис. 2) смещением грунтовых масс в сторону свободной поверхности по кромке борта.



Рис. 2. Развитие эрозии верхнего горизонта кромки борта угольного разреза

На исследуемом участке протяженностью более 1 км для контроля смещений грунтовых отложений верхнего горизонта краевой зоны борта было оборудовано 5 реперных точек наблюдательной станции, установленных перпендикулярно кромке борта на расстоянии 10 м друг от друга, как показано на (рис. 3). Контроль смещений производился при помощи GPS измерений [4].

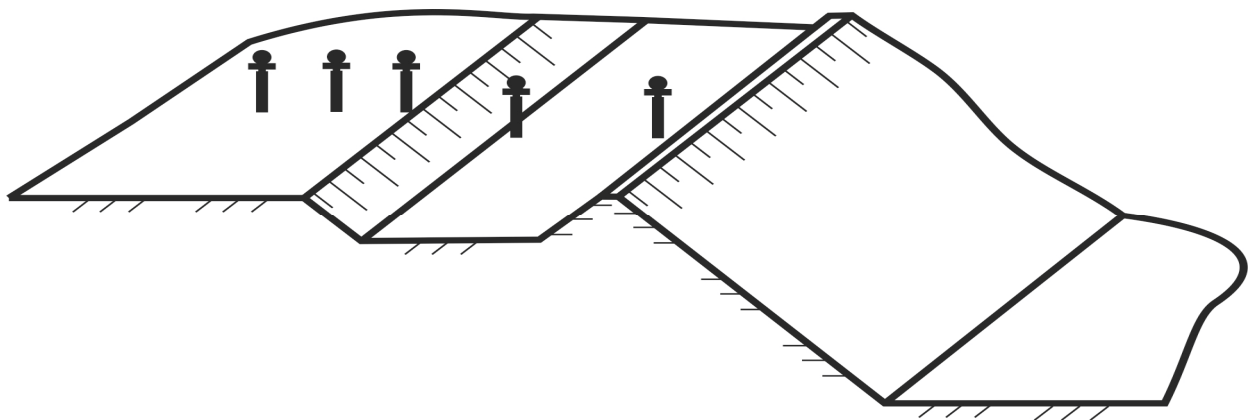


Рис. 3. Расположение реперов для наблюдения смещений поверхности грунта в зоне разлома, значком \uparrow обозначены репера

Результаты

По данным измерений установлено, что наибольшие смещения грунта наблюдений в весенний период при снеготаянии, а также в случае выпадения аномального количества дождевых осадков. В табл. 1 и на (рис. 4) показаны среднесуточные смещения реперов за трехгодичный период наблюдений.

Таблица 1

Зависимость суточных смещений реперов от количества осадков

Наименование параметра	Год			
	2021	2022	2023	
Количество осадков за сезон, мм	326	234	351	
Скорость смещений реперов по створу, мм/сут.	минимальная	3.25	2.61	3.51
	максимальная	3.94	3.7	3.9
	средняя	3.6	3.24	3.78

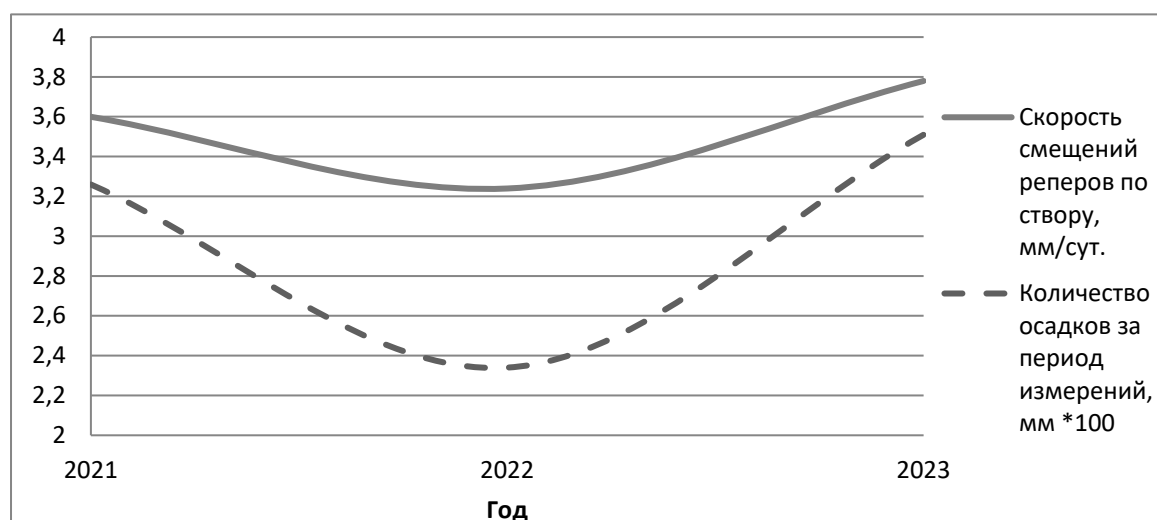


Рис. 4. Изменение суточных смещений реперов в зависимости от количества выпадения осадков по годам

Смещения грунтовых отложений в процессе увлажнения происходят послойно, при этом просматривается зависимость скорости смещения от объёмов таяния снежного покрова и выпадения дождевых осадков. Ниже приведён расчёт гидрологических параметров исследуемого участка за периоды дождевых проявлений с целью оценки продолжительности времени, необходимого для контроля смещений реперов в результате аномальных осадочных проявлений.

За период с 01.04 по 01.11.2023 года в разрезе выпало 351 мм осадков. Объём дождевых вод за указанный период измерений составил согласно [5]:

$$W_{\text{атм.осад.}} = E_{\text{атм}} F = (0.351 \cdot 50 \cdot 100) = 1755 \text{ м}^3 \quad (1)$$

где: $E_{\text{атм.}}$ – количество осадков, мм; F – площадь поверхности водосброса, м^2 .

Максимальное суточное количество осадков, выпавших в районе разреза в 2023 году составило ~ 22 мм, при этом суточный объём водосбора составил

$$W_{\text{атм.осад. макс.}} = (0.022 \cdot 50 \cdot 100) = 110 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Коэффициент фильтрации K_f воды в супесях составляет ~ 50 мм/сут.

Таким образом, исходя из расчётов, максимальный выпавший объём осадков был полностью отфильтрован в слой супеси в течение 10-11 часов, без учёта накопления и дренажа осадков с окружающего рельефа местности по впадинам и ложбинам. Исходя из полученных результатов при данных условиях, определение наибольших смещений супеси будет проявляться в максимальный момент их набухания, т.е. через 1-2 часа после окончания выпадения осадков.

В табл. 2 показаны значения максимально допустимой высоты борта четвертичных отложений, полученных по результатам лабораторных испытаний образцов, взятых из естественных условий геосреды. Коэффициент запаса прочности K выбран для нерабочего борта и составляет 1.2. Значения высоты борта рассчитаны по формуле (2) [6, 7]:

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma \cdot \text{tg}(45 - 0,5\varphi)} / K \quad (2)$$

где: C – сцепление в массиве, кПа; φ – угол внутреннего трения, град.; γ – объёмный вес горной массы, $\text{МН}/\text{м}^3$; K – коэффициент запаса прочности для нерабочего борта, был выбран равным 1.2.

Таблица 2

Изменение свойств суглинистых отложений в зависимости от естественной влажности и угла внутреннего трения

Влажность естественная, %	Объёмный вес γ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Угол внутреннего трения φ , град	Сцепление в образце C , кПа	Максимально допустимая высота борта, м
23.29	2010	68.00	56.88	24.76
24.95	2030	62.89	51.98	18.05
26.60	2050	57.78	48.05	13.79
28.26	2070	52.67	44.13	10.72
29.92	2090	47.56	40.21	8.41
31.57	2120	42.44	36.29	6.62
33.23	2140	37.33	32.36	5.20
34.89	2160	32.22	27.46	3.92
38.20	2200	22.00	19.61	2.25

Как видно из табл. 2, при влагонасыщении суглинков параметры допустимой высоты борта могут различаться в 11 раз. В периоды переувлажнения суглинков происходит изменение угла внутреннего трения ϕ и увеличение их объёмного веса на 4-7%, что приводит к несоответствию расчётных значений требованиям устойчивости борта. Дополнительно наблюдается вымывание глинистых частиц из супесей, оседание которых приводит к формированию и накоплению водоупорного слоя, вследствие уменьшения скорости фильтрации воды, а также к образованию или наполнению влагой уже имеющихся водных линз.

Обсуждение

В условиях угольных разрезов необходимо отслеживать деформирование краевых зон бортов в результате воздействий природно-климатических факторов, основными из которых являются ветро-дождевые проявления. Одновременно просматривается возможность объяснить эффект «волочения» поверхностных слоев грунта по коренным отложениям осваиваемого массива при расширении-сжатии под воздействием суточно-сезонных изменений температуры окружающей среды при отсутствии бокового подпора в краевой части борта.

Если выбрать образец глины линейным размером 10 м, расположенный в естественных условиях залегания с направлением в сторону кромки борта, то при суточном увеличении положительной температуры окружающей среды в среднем на $\sim 10^{\circ}\text{C}$ (нагрев в дневное время, характерный для Кузбасса) такой образец в результате линейного расширения может увеличиться на ~ 0.81 мм. В дисперсных средах такой эффект может проявляться в виде послойных продольных смещений грунта, сопровождающихся проскальзыванием относительно друг друга пластинчатых структур, характерных для глин и суглинков. С понижением суточной температуры среды в ночное время на $\sim 10^{\circ}\text{C}$ образец должен уменьшиться в размере на ту же величину, т. е. должно произойти его сжатие с возвращением практически в исходное положение.

Однако, в связи с дисперсностью среды, состоящей из глин и суглинков, при отсутствии бокового подпора в краевой части борта обратное сжатие может и не происходить в связи с проскальзыванием микрочастиц грунта относительно друг друга, что способствует образованию микротрещин. В результате повторяющихся суточных циклов нагревания-охлаждения поверхности грунта за ~ 100 суток увеличение линейного размера образца может составить ~ 8 мм, что способствует развитию протяженных микротрещин, постепенно увеличивающихся в размерах и приводящих к смещениям грунта, направленным, в основном, к свободной от бокового подпора кромке борта. В итоге на поперечных изломах образца могут формироваться как протяженные трещины вдоль кромки борта, так и происходить смещения верхних слоев грунта относительно нижележащих. Визуально это заметно по отклонениям установленных на трассе наблюдательных реперов в направлении краевой части борта, что указывает на послойное смещение грунтов, создающее эффект «волочения».

Заключение

Наиболее опасными условиями для ведения открытых горных работ являются периоды снеготаяния и сверхнормативного выпадения дождевых осадков в зонах с возможным линзообразованием, а также, как отмечено в обсуждении, влияние суточно-сезонных перепадов температуры окружающей среды.

В таких условиях необходимо контролировать как сам забой, так и близлежащие зоны, избегать накопления снежного покрова в зонах, склонных к водозрозионным разрушениям, т.к. часть воды при снеготаянии стекает по откосам, размягчая верхнюю кромку уступа, что приводит к вымыванию грунта по структурам трещин. Длительное воздействие влаги приводит, как правило, к пучению и выпиранию грунтов, что с неизбежностью создает условия для формирования при циклическом намокании/просыхании накопительного деформационного эффекта, который проявляется в виде образования зеркал скольжения и трещин, приводящих к возможному обрушению части борта.

По итогам исследований угольного разреза рекомендовано:

- 1) Организовать дополнительные водосбросы и откачку вод поверхностного стока за пределы зоны добычи при помощи водоотводящих скважин.
- 2) Повысить водопроницаемость почвы, с учётом рельефа местности и организовать отвод талого стока путём изменения крутизны склонов.
- 3) Для своевременного принятия мер по предотвращению разрушений при бортовой кромки в зонах, склонных к повышенному гидровоздействию методами неразрушающего контроля должен быть организован постоянный геомониторинг и контроль уровня грунтовых вод.

Благодарности

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-17-00148, <https://rscf.ru/project/23-17-00148/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юшкин В. Ф. О прогнозе оседаний грунтов в бортах карьера : Сб. материалов XV Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019». – Новосибирск: СГУГиГ, 2019. – Т. 2, № 5. – С. 132-137. – 2019.
2. Шевченко Д.А. Сивоконь Ю.В., Влияние стока талых вод на водную эрозию почвы : Международный научно-исследовательский журнал №7. С. 133-135. – 2015.
3. Рублев Д.Е. Об изменении прочностных свойств четвертичных отложений в бортах карьера под влиянием природно-климатических факторов : Сборник материалов XVIII Международного научного конгресса Интерэкспо Гео-Сибирь. Т. 2. – Новосибирск. Изд-во: СГУГИТ. С. 295-299. – 2022.
4. А.Г. Малков Высшая геодезия. Высокоточные измерения : Новосибирск. Изд-во: СГГА, 2011. – 46 с.
5. Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология : учебник для вузов. М.; Берлин : Директ-Медиа, 2017, 752 с.
6. Методические указания по определению параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов : – М. : ИПКОН РАН, 2022. – 80 с.
7. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений.

© Д. Е. Рублев, 2024